

## XI-088 - FATORES ASSOCIADOS A ÍNDICES ELEVADOS DE PERDAS DE ÁGUA: UMA ANÁLISE POR MEIO DE REGRESSÃO LOGÍSTICA MÚLTIPLA

**André Braga Galvão Silveira<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Mestre em Saúde Pública pela Fundação Oswaldo Cruz. Analista de infraestrutura e Coordenador de Planejamento e Regulação no Ministério do Desenvolvimento Regional.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** SAS, Quadra 01, Lote 01/06, Bloco H, 9º andar, sala 905, Edifício Telemundi II – Brasília – DF – CEP: 70070-010 – Brasil – Tel: (61) 2108-1527 – e-mail: [andre.silveira@cidadades.gov.br](mailto:andre.silveira@cidadades.gov.br)

### RESUMO

Este trabalho visa conhecer o perfil dos territórios que têm maiores índices de perdas no Brasil. Em outras palavras, verifica-se, por meio de regressão logística múltipla, o impacto que variáveis operacionais, regulamentares e econômico-sociais têm no índice de perdas de determinado município. As variáveis presença de regulação, política de saneamento, fundo de saneamento, comitê de saneamento, o tipo de prestador e o grau de atendimento urbano não são variáveis relacionadas às chances de um município ter perdas acima da média nacional. A presença de plano de saneamento elaborado ou em elaboração aumentou as chances de um município ter perdas acima da média nacional. Possuir intermitência severa ou não possuir nenhuma intermitência nos últimos 10 anos são os fatores que mais impactam nas chances de um município possuir perdas acima da média nacional. No caso de possuir intermitência severa, as chances de determinado município possuir perdas acima da média nacional é 112% maior. Se não tiver intermitência em nenhum ano nos últimos dez anos, a chance de ter perdas acima da média nacional é 64% menor. Municípios da região Sul ou Sudeste possuem chances 54% menores de ter perdas acima da média nacional. Em relação à densidade de economias por ligação, a cada 10% de aumento desta variável, aumenta em 21% a chance de o município possuir perdas acima da média nacional. Os índices de macro e micromedicação tiveram impacto na redução de chances de determinado município ter perdas maiores que a média nacional, como esperado. As variáveis sócio-econômicas (Consumo *per capita*, PIB *per capita* e População residente) tiveram pouco impacto nas chances de um município ter perdas acima da média nacional, embora tenha entrado no modelo final de regressão proposto.

**PALAVRAS-CHAVE:** Perdas de água, Fatores, Regressão Logística Múltipla.

### INTRODUÇÃO

O elevado índice de perdas de água nos sistemas de abastecimento de água brasileiros é um problema que vem chamando a atenção dos *stakeholders* para a maneira como são operados os sistemas brasileiros. Ainda assim, pouco se tem debruçado sobre o perfil dos territórios que têm maiores índices de perdas no Brasil. Em outras palavras, é desconhecido qual o impacto que variáveis operacionais, regulamentares e econômico-sociais, por exemplo, têm no índice de perdas de determinado município.

Com o objetivo de conhecer os fatores associados a índices elevados de perdas de água, levantou-se uma série de variáveis do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, da Pesquisa de Informações Básicas Municipais e do Produto Interno Bruto dos Municípios. Todas as variáveis listadas são desagregadas ao nível municipal.

Utilizou-se neste trabalho a regressão logística múltipla. Esta ferramenta é conveniente para modelagens nas quais se deseja prever a presença ou ausência de uma determinada característica, baseado em valores de um conjunto de variáveis independentes (LEITE *et al.*, 2011). No caso deste artigo, a variável dependente binômica (*dummy*) foi possuir ou não perdas em percentual acima da média nacional.

## METODOLOGIA

A variável dependente no modelo foi o Índice de Perdas na Distribuição do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) que é calculado conforme Equação 1 (SNIS, 2018a).

**Equação 1 – Fórmula de cálculo do Índice de Perdas Por Ligação (IN049).**

$$IN_{049} = \frac{AG_{006} + AG_{018} - AG_{010} - AG_{024}}{AG_{006} + AG_{018} - AG_{024}} \times 100$$

Onde:

AG<sub>006</sub>: Volume de água produzido (1.000 m<sup>3</sup>/ano);

AG<sub>010</sub>: Volume de água consumido (1.000 m<sup>3</sup>/ano);

AG<sub>018</sub>: Volume de água tratada importado (1.000 m<sup>3</sup>/ano);

AG<sub>024</sub>: Volume de serviço (1.000 m<sup>3</sup>/ano).

Como o modelo de regressão logística utilizado necessita de variável categórica binômica, os municípios do Brasil (n=5.570) foram divididos em municípios que possuem perdas acima de 39% (n=1.502) e municípios que possuem perdas abaixo de 39% (n=3.659). Para 409 municípios, não havia dados disponíveis no SNIS. O valor de 39% foi escolhido por ser o valor imediatamente superior, sem casas decimais, à média do IN049 no Brasil (cf. SNIS, 2018b).

A regressão logística múltipla foi utilizada para estimar o grau de influência de cada variável independente em índices elevados de perdas de água nos municípios. Todos os testes estatísticos foram realizados com o *software* gratuito R.

O modelo da regressão logística segue a equação abaixo:

**Equação 2 – Equação do modelo de regressão logística (logit).**

$$\text{Logit}(\pi) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n$$

Onde:

Logit (π): função logística linearizada

β<sub>0</sub>: constante;

β<sub>n</sub>: coeficiente angular da n-ésima variável; e

X<sub>n</sub>: n-ésima variável preditora.

Para calcular as razões de chances, utilizou-se a seguinte equação:

**Equação 3 – Cálculo da razão de chances, por variável independente.**

$$OR_i = e^{\beta_i}$$

Onde:

OR<sub>i</sub>: Razão de chances para a variável independente i;

β<sub>i</sub>: Coeficiente da variável independente i.

As variáveis independentes testadas, assim como a razão para a escolha delas, estão dispostas na Tabela 1.

**Tabela 1 – Variáveis independentes testadas.**

VARIÁVEL	TIPO	FONTE	RAZÃO PARA A ESCOLHA
Atendimento Urbano	Contínua	SNIS (2018c)	Altos atendimentos, ao menos na área urbana dos municípios, poderiam sinalizar uma maior eficiência na prestação de serviços.
Consumo <i>per capita</i>	Contínua	SNIS (2018c)	O consumo <i>per capita</i> é variável <i>proxy</i> de características climáticas, de renda, de tipo de urbanização, etc.
Economia por ligação	Contínua	SNIS (2018c)	A densidade de economias por ligação apontaria para padrões verticalizados - além de uma intensidade maior - na urbanização.
Índice de Macromedicação	Contínua	SNIS (2018c)	O conhecimento sobre os volumes de entrada no sistema subsidia melhores tomadas de decisão para a redução de perdas.
Índice de Micromedicação	Contínua	SNIS (2018c)	O conhecimento sobre os volumes consumidos subsidia melhores tomadas de decisão para a redução de perdas.
Intermitência	Categórica	Elaboração própria com base em SNIS (2018c)	Sistemas intermitentes aceleram mais rapidamente a fadiga de materiais e incentiva comportamentos oportunistas dos consumidores.  Categorias: 1. Intermitência Severa: Reportou intermitência em todos os anos nos últimos 10 anos. 2. Não teve intermitência: Não reportou intermitência em nenhum ano nos últimos 10 anos. 3. Não está nas categorias acima.
PIB <i>per capita</i> (x1000)	Contínua	IBGE (2017)	Variável relacionada à renda média do município.
PMSB	Categórica	IBGE (2018)	Possuir Plano Municipal de Saneamento Básico poderia sinalizar a uma maior preocupação por parte do município com o tema saneamento. Categorias: 1. Possui PMSB. 2. O PMSB está em elaboração. 3. Não possui PMSB.
População Residente (x1000)	Contínua	IBGE (2018)	Variável relacionada ao porte do município, que, por sua vez, é <i>proxy</i> de maior capacidade de gestão e interferência nas políticas de saneamento.
Possui comitê municipal que trata de saneamento básico	Categórica	IBGE (2018)	A presença de instâncias de participação social poderia levar à eficiência na prestação dos serviços. Categorias: 1. Não possui comitê. 2. Possui comitê.
Fundo de Saneamento Básico	Categórica	IBGE (2018)	Municípios com fundo de saneamento básico pode ter interesse maior no financiamento aos sistemas de saneamento em relação aos que não dispõem deste instrumento. Categorias: 1. Não possui fundo de saneamento. 2. Possui fundo de saneamento.
Possui Política de Saneamento Básico	Categórica	IBGE (2018)	Municípios com política de saneamento básico podem ter mais interesse no tema, gerando controle social dos serviços. Categorias: 1. Não possui política de saneamento. 2. Política de saneamento em elaboração. 3. Possui política de saneamento.
Regulação para o Abastecimento de Água	Categórica	IBGE (2018)	A presença de regulação poderia ser um fator adicional de eficiência aos sistemas de abastecimento de água. Categorias: 1. Não possui regulação.

			2. Possui regulação.
Região do País	Categórica	-	Municípios presentes em regiões mais ricas podem ter perdas menores. Categorias: 1. Municípios das regiões Sul e Sudeste. 2. Municípios de outras regiões.
Tipo de Prestador	Categórica	SNIS (2018c)	Prestadores com abrangências diferentes podem ser impactados na sua profissionalização. Categorias: 1. Prestadores locais. 2. Prestadores microrregionais. 3. Prestadores regionais.

Para todas as variáveis independentes, aplicou-se o teste de Wald, visando testar a hipótese nula de que a variável independente não influencia a variável dependente. Foram pré-selecionadas para o modelo todas aquelas em que o referido teste rejeitou a hipótese nula para um nível de significância de 20%. Após a retirada de variáveis na pré-seleção, aplicando-se novamente o teste de Wald para as variáveis restantes, retirou-se aquelas em que a hipótese nula foi rejeitada para um nível de significância de 5%.

Em seguida, foram calculados os coeficientes das variáveis independentes e aplicou-se o teste de Hosmer-Lemeshow, objetivando testar a hipótese nula de que a qualidade do modelo de regressão logística é adequada (nível de confiança de 5%).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados do teste de Wald para a pré-seleção e para o modelo final estão descritos na tabela abaixo, assim como os coeficientes  $\beta$  (cf. Equação 2) do modelo final.

**Tabela 2 – Variáveis independentes, testes de Wald para a pré-seleção e para o modelo final e coeficientes  $\beta$  de cada variável.**

<b>Variável Independente</b>	<b>Pré-Seleção</b>		<b>Modelo Final</b>		
	<b>Teste Wald</b>	<b>p-valor</b>	<b>Teste Wald</b>	<b>p-valor</b>	<b><math>\beta</math></b>
População Residente	2,092	4%	2,12	3%	0,0004
Possui regulação	-0,252	80%	<i>Não entrou no modelo final</i>		
Política de saneamento em elaboração	0,526	60%	<i>Não entrou no modelo final</i>		
Possui política de saneamento	0,583	56%	<i>Não entrou no modelo final</i>		
O PMSB está em elaboração	1,636	10%	2,40	2%	0,2095
Possui PMSB	1,798	7%	2,97	0%	0,2616
Possui comitê	0,942	35%	<i>Não entrou no modelo final</i>		
Possui fundo de saneamento	1,110	27%	<i>Não entrou no modelo final</i>		
Intermitência (Não teve)	-6,579	0%	-6,57	0%	-1,0250
Intermitência (Severa)	3,131	0%	3,08	0%	0,7501
Prestadores microrregionais	0,713	48%	<i>Não entrou no modelo final</i>		
Prestadores regionais	2,183	3%	<i>Não entrou no modelo final</i>		
PIB per capita	2,822	0%	2,85	0%	0,0048
Economia por ligação	10,035	0%	11,55	0%	1,8718
Índice de Micromedicação	-4,349	0%	-4,06	0%	-0,0048
Municípios das regiões Sul e Sudeste	-9,193	0%	-9,70	0%	-0,7668
Índice de Macromedicação	-12,777	0%	-12,87	0%	-0,0105
Consumo per capita	-7,768	0%	-8,61	0%	-0,0053
Atendimento Urbano	0,851	40%	<i>Não entrou no modelo final</i>		

O teste de Hosmer-Lemeshow para o modelo final resultou em um p-valor de 23,3%, portanto, a hipótese nula de que o modelo de regressão logística é adequado e correto não foi descartada.

A tabela abaixo interpreta as razões de chance encontradas para cada variável independente no modelo final.

**Tabela 3 – Razões de chances para cada variável e interpretação dos resultados.**

VARIÁVEL	OR	INTERPRETAÇÃO
Intermitência Severa (10 anos de intermitência)	0,7500 $e^{\beta} = 2,117$	Municípios que tiveram intermitência nos últimos 10 anos têm chances 112% maiores de ter índice de perdas maior que a média nacional.
Não teve intermitência por 10 anos	-1,0250 $e^{\beta} = 0,359$	Municípios que não tiveram intermitência nos últimos 10 anos têm chances 64% menores de ter índice de perdas maior que a média nacional.
Região do País	-0,7668 $e^{\beta} = 0,464$	Se estiver localizado na região Sul ou Sudeste, o município reduz em 54% a chance de ter perdas acima da média nacional.
Possui PMSB	0,2616 $e^{\beta} = 1,299$	Caso o município tenha Plano Municipal de Saneamento Básico, há 30% de chances a mais de o nível de perdas ser maior que a média nacional, em relação aos municípios que não têm plano.
O PMSB está em elaboração	0,2095 $e^{\beta} = 1,233$	Caso o Plano Municipal de Saneamento Básico esteja Em Elaboração, há 23% de chances a mais de o nível de perdas ser maior que a média nacional, em relação aos municípios que não têm plano.
Economia por ligação	1,8718 $e^{\beta*0.1} = 1,206$	Um aumento de 10% no índice de economias por ligação aumenta em 21% a chance de o município ter perdas acima da média nacional.
Índice de Macromedicação	-0,0105 $e^{\beta*0.1} = 0,9989$	Um aumento de 10% no Índice de Macromedicação reduz em 0,10% a chance de o município ter perdas acima da média nacional.
Consumo <i>per capita</i>	-0,0053 $e^{\beta*0.1} = 0,9995$	Um aumento de 10% no consumo per capita reduz em 0,05% a chance de o município ter perdas acima da média nacional.
Índice de Micromedicação	-0,0048 $e^{\beta*0.1} = 0,9995$	Um aumento de 10% no de aumento no Índice de Micromedicação reduz-se em 0,05% a chance de o município ter perdas acima da média nacional.
PIB <i>per capita</i>	0,00482 $e^{\beta*0.1} = 1,00048$	Um aumento de 10% do PIB <i>per capita</i> (em milhares), aumenta em 0,05% as chances de o nível de perdas ser maior que a média nacional.
População Residente	0,00043 $e^{\beta*0.1} = 1,00004$	A cada 10% de aumento da população residente (em milhares), aumenta em 0,004% chances a mais de o nível de perdas ser maior que a média nacional.

## CONCLUSÕES

As variáveis presença de regulação, política de saneamento, fundo de saneamento, comitê de saneamento, o tipo de prestador e o grau de atendimento urbano não são variáveis relacionadas às chances de um município ter perdas acima da média nacional. Desse modo, levanta-se a hipótese de que os instrumentos de planejamento municipais não são suficientes para induzir a redução de perdas de água em determinado território. Estes resultados não são surpreendentes se levarmos em conta a precariedade da implementação das ferramentas de planejamento municipal no Brasil.

Também, foi possível verificar que a presença de plano de saneamento elaborado ou em elaboração aumentou as chances de um município ter perdas acima da média nacional. Isso pode explicar-se pela obrigatoriedade de possuir plano de saneamento, imposta pelo Governo Federal (BRASIL, 2010). Assim, municípios com maiores com sistemas de abastecimento mais deficientes podem ter se adiantado à elaboração dos seus planos, objetivando captar recursos federais.

Pelo modelo de regressão logística, percebe-se que possuir intermitência severa ou não possuir nenhuma intermitência nos últimos 10 anos são os fatores que mais impactam nas chances de um município possuir

perdas acima da média nacional. No caso de possuir intermitência severa, as chances de determinado município possuir perdas acima da média nacional é 112% maior. Se não tiver intermitência em nenhum ano nos últimos dez anos, a chance de ter perdas acima da média nacional é 64% menor.

O terceiro fator de maior impacto foi o regional. Caso o município esteja na região Sul ou Sudeste, há chances 54% menores de determinado município ter perdas acima da média nacional.

Em relação à densidade de economias por ligação, a cada 10% de aumento desta variável independente, aumenta em 21% a chance de o município possuir perdas acima da média nacional. Isto pode ser explicado pelo grau de urbanização do município, ou seja, o fato de operar sistemas em municípios intensamente urbanizados traz um grau de complexidade que pode impactar na eficiência da prestação dos serviços.

Os índices de macro e micromedição tiveram impacto na redução de chances de determinado município ter perdas maiores que a média nacional, como esperado. As variáveis sócio-econômicas (Consumo *per capita*, PIB *per capita* e População residente) tiveram pouco impacto nas chances de um município ter perdas acima da média nacional, embora tenha entrado no modelo final de regressão proposto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Decreto nº 7.217, de 21 de junho de 2010. Regulamenta a Lei no 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7217.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7217.htm)>. Acesso em: 31 out. 2018.
2. [IBGE] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa de Informações Básicas Municipais – MUNIC. Suplemento saneamento básico: Aspectos gerais da gestão da política de saneamento básico. 2018. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/administracao-publica-e-participacao-politica/19879-suplementos-munic2.html?edicao=22388&t=sobre>>. Acesso em: 28 out. 2018.
3. \_\_\_\_\_. Produto Interno Bruto dos Municípios – 2010 a 2015. 2017. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municipios.html?=&t=conceitos-e-metodos>>. Acesso em: 18 out. 2018.
4. LEITE, R. C. M., GUIMARÃES, E. C., LIMA, E. A. P., BARROZO, M. A. S., TAVARES, M. Utilização de regressão logística simples na verificação da qualidade do ar atmosférico de Uberlândia. Engenharia Sanitária e Ambiental. v.16, n.1. 2011.
5. [SNIS] SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Glossário de Informações: água e esgoto 2017. 2018a. Disponível em: <[http://snis.gov.br/Glossarios/Glossario\\_Informacoes\\_AE2017.zip](http://snis.gov.br/Glossarios/Glossario_Informacoes_AE2017.zip)>. Acesso em: 18 out. 2018.
6. \_\_\_\_\_. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2016. 2018b. Disponível em: <<http://snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos>>. Acesso em: 18 out. 2018.
7. \_\_\_\_\_. Série Histórica. Busca de Informações e Indicadores Desagregados. 2018c. Disponível em: <<http://app3.cidades.gov.br/serieHistorica/>>. Acesso em: 18 out. 2018.